



Q6760
10f2

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION



COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

7 SEP. 2001

Fait à Paris, le _____

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE


SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30
www.inpi.fr

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DS 540 W / 2008/4

<p align="center">Réservé à l'INPI</p> <p>REMISE DES PIÈCES</p> <p>DATE 21 DEC 2000</p> <p>LIEU 75 INPI PARIS</p> <p>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0016756</p> <p>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 21 DEC. 2000</p> <p>Vos références pour ce dossier (facultatif) 102869/RF/TSD/TPM</p>		<p>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</p> <p>COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Michel Robert FOURNIER 30 avenue Kléber 75116 PARIS</p>	
<p>Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie</p>		<p align="right">4</p>	
<p>2 NATURE DE LA DEMANDE</p> <p>Demande de brevet <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/></p> <p>Demande divisionnaire <input type="checkbox"/></p> <p align="center"><i>Demande de brevet initiale</i> N° _____ Date ____/____/____</p> <p align="center"><i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> N° _____ Date ____/____/____</p> <p>Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i> <input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____</p>		<p>Cochez l'une des 4 cases suivantes</p>	
<p>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</p> <p>GENERATEUR DE RETARD DE GROUPE DIFFERENTIEL AJUSTABLE ET COMPENSATEUR DE DISPERSION DE POLARISATION L'INCORPORANT</p>			
<p>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</p>		<p>Pays ou organisation _____ N° _____</p> <p>Date ____/____/____</p> <p>Pays ou organisation _____ N° _____</p> <p>Date ____/____/____</p> <p>Pays ou organisation _____ N° _____</p> <p>Date ____/____/____</p> <p><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»</p>	
<p>5 DEMANDEUR</p> <p>Nom ou dénomination sociale</p> <p>Prénoms</p> <p>Forme juridique</p> <p>N° SIREN</p> <p>Code APE-NAF</p> <p>Adresse</p> <p>Rue</p> <p>Code postal et ville</p> <p>Pays</p> <p>Nationalité</p> <p>N° de téléphone (facultatif)</p> <p>N° de télécopie (facultatif)</p> <p>Adresse électronique (facultatif)</p>		<p><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»</p> <p align="center">ALCATEL</p> <p align="center">Société Anonyme</p> <p align="center">5 . 4 . 2 . 0 . 1 . 9 . 0 . 9 . 6</p> <p align="center">54, rue La Boétie</p> <p align="center">75008 PARIS</p> <p align="center">FRANCE</p> <p align="center">Française</p>	

REMISE DES PIÈCES DATE 21 DEC 2000 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0016756		Réservé à l'INPI		CB 540 W / 260899	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>			102869/RF/TSD/TPM		
6 MANDATAIRE					
Nom			FOURNIER		
Prénom			Michel Robert		
Cabinet ou Société			Compagnie Financière Alcatel		
N ° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			PG 8182		
Adresse	Rue	30 Avenue Kléber			
	Code postal et ville	75116	PARIS		
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>					
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>					
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>					
7 INVENTEUR (S)					
Les inventeurs sont les demandeurs			<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée		
8 RAPPORT DE RECHERCHE			Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)		
Établissement immédiat ou établissement différé			<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Paiement échelonné de la redevance			Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non		
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES			Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i>		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes					
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			Michel Robert FOURNIER / LC 40 B 		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI M. ROCHET

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260297

Vos références pour ce dossier (facultatif)		102869/RF/TSD/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02 16 756	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) GENERATEUR DE RETARD DE GROUPE DIFFERENTIEL AJUSTABLE ET COMPENSATEUR DE DISPERSION DE POLARISATION L'INCORPORANT			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		PENNINCKX	
Prénoms		Denis	
Adresse	Rue	5, RUE PASTEUR	
	Code postal et ville	91620 NOZAY, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LECLERC	
Prénoms		Olivier	
Adresse	Rue	37 RUE DE LIERS	
	Code postal et ville	91240 SAINT MICHEL S/ORGE, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LANNE	
Prénoms		Stéphanie	
Adresse	Rue	41, RUE DES PLANTES	
	Code postal et ville	75014 PARIS, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) XX DU DEMANDEUR(S) XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		20 décembre 2000 Michel Robert FOURNIER 	

GENERATEUR DE RETARD DE GROUPE DIFFERENTIEL AJUSTABLE ET COMPENSATEUR DE DISPERSION DE POLARISATION L'INCORPORANT

L'invention se situe dans le domaine des transmissions
5 de signaux par des moyens optiques et plus particulièrement
des transmissions à haut débit sur des liaisons à longue
distance utilisant des fibres optiques.

L'invention concerne plus précisément un dispositif
générateur de retard de groupe différentiel pour signaux
10 optiques ainsi qu'un dispositif compensateur de dispersion
de polarisation l'incorporant.

On rappelle qu'un système de transmission à fibre
optique comporte typiquement :

- un terminal émetteur utilisant au moins une onde
15 porteuse optique dont il module la puissance et/ou la
fréquence optique en fonction de l'information à
transmettre,

- une liaison de transmission optique constituée d'au
moins une section de fibre monomode acheminant le signal
20 émis par le terminal émetteur,

- et un terminal récepteur recevant le signal optique
transmis par la fibre.

La performance d'un système de transmission optique,
notamment en termes de qualité de signal et de débit, est
25 limitée notamment par les propriétés optiques de la liaison
qui est le siège des phénomènes physiques ayant pour effet
de dégrader les signaux optiques. Parmi tous les phénomènes
identifiés, l'atténuation de la puissance optique et la
dispersion chromatique sont ceux qui sont apparus en premier
30 comme les plus contraignants et pour lesquels on a proposé
des moyens pour remédier au moins partiellement aux
dégradations qu'ils entraînent. L'atténuation dans les
fibres a pu être compensée au moyen d'amplificateurs
optiques disposés en amont ou en aval ou tout au long de la
35 liaison. Le problème de la dispersion chromatique est
sensible avec les fibres standard. Une solution consiste à
insérer dans la liaison au moins une fibre dispersive de

compensation, appelée "fibre de compensation de dispersion chromatique" ou DCF (de l'anglais "Dispersion Compensating Fiber").

Un autre phénomène défavorable est la "dispersion modale de polarisation" (en l'anglais "Polarisation Mode Dispersion"). Dans les conditions d'exploitation actuelles des transmissions optiques, ce phénomène n'est plus négligeable par rapport à la dispersion chromatique dès que l'on cherche à augmenter toujours davantage les longueurs des liaisons et surtout le débit.

Même en l'absence de dispersion chromatique et bien que l'onde porteuse fournie par une diode laser au niveau de l'émetteur soit totalement polarisée, les fibres sont le siège d'une dispersion de polarisation qui a par exemple pour effet qu'une impulsion émise par le terminal émetteur est reçue déformée après sa propagation dans une fibre et présente une durée supérieure à sa durée originale.

Cette déformation est due à la biréfringence des fibres qui a pour effet que le signal optique se dépolarise pendant la transmission. En première approximation, le signal reçu à l'extrémité de la fibre de liaison peut être considéré comme constitué de deux composantes orthogonales, l'une correspondant à un état de polarisation pour lequel la vitesse de propagation est maximale (état principal de polarisation le plus rapide) et l'autre correspondant à un état de polarisation pour lequel la vitesse de propagation est minimale (état principal de polarisation le plus lent). Autrement dit, un signal impulsional reçu à l'extrémité de la fibre de liaison peut être considéré comme étant composé d'un premier signal impulsional, polarisé suivant un état de polarisation privilégié et arrivant en premier, et d'un second signal impulsional se propageant suivant un état de propagation retardé et arrivant avec un retard appelé "retard de groupe différentiel" ou DGD (de l'anglais "Differential Group Delay") qui dépend notamment de la longueur de la liaison. Ce retard de groupe différentiel DGD

et ces deux états principaux de polarisation ou PSP (de l'anglais "Principal States of Polarisation") caractérisent donc la liaison.

Par conséquent, si le terminal émetteur émet un signal
 5 optique constitué d'une impulsion très brève, le signal
 optique reçu par le terminal récepteur est constitué de deux
 impulsions successives polarisées orthogonalement et ayant
 un décalage temporel égal au DGD. Comme la détection par le
 terminal consiste à fournir sous forme électrique une mesure
 10 de la puissance optique totale reçue, l'impulsion détectée
 aura une largeur temporelle augmentée en fonction de la
 valeur du DGD. Ce retard peut être de l'ordre de 50
 picosecondes pour une fibre standard de 100 kilomètres de
 longueur. Ainsi, pour un signal binaire dont le débit est de
 15 10 gigabits par seconde, ce retard atteint donc la moitié
 d'un temps bit, ce qui n'est pas acceptable. Ce problème est
 évidemment encore plus critique pour des débits supérieurs.

Un aspect important du phénomène de dispersion modale
 de polarisation est que la valeur du retard différentiel DGD
 20 et les états principaux de polarisation d'une liaison
 varient dans le temps en fonction de nombreux facteurs, tels
 que les vibrations et la température. Ainsi, contrairement à
 la dispersion chromatique, la dispersion de polarisation
 doit être considérée comme un phénomène aléatoire. En
 25 particulier, on caractérisera la dispersion de polarisation
 d'une liaison par une valeur dite "PMD" (de l'anglais
 "Polarisation Mode Dispersion Delay") définie comme la
 valeur moyenne de DGD mesuré.

Plus précisément, on montre que la dispersion de
 30 polarisation peut être représentée par un vecteur de
 rotation aléatoire Ω dans l'espace de Poincaré où l'on
 représente habituellement les états de polarisation d'une
 onde optique par un vecteur d'état de polarisation \mathbf{S} , dit
 vecteur de Stokes, dont l'extrémité est située sur une
 35 sphère.

La figure 1 montre les principaux vecteurs impliqués : le vecteur \mathbf{S} d'état de polarisation d'un signal optique, le vecteur $\mathbf{\Omega}$ de dispersion de polarisation de la liaison et le vecteur \mathbf{e} des états principaux de polarisation PSP de la
 5 liaison. Φ est l'angle entre \mathbf{S} et $\mathbf{\Omega}$.

Les vecteurs \mathbf{e} et $\mathbf{\Omega}$ ont la même direction et l'effet au premier ordre de la dispersion de polarisation sur le vecteur \mathbf{S} du signal optique émis se traduit par la relation : $\partial\mathbf{S}/\partial\omega = \mathbf{\Omega} \otimes \mathbf{S}$, où ω est la pulsation de l'onde
 10 optique, le symbole \otimes désignant le produit vectoriel.

Le module de $\mathbf{\Omega}$ est la valeur du retard de groupe différentiel DGD de la liaison, c'est-à-dire de la différence entre les temps de propagation entre deux ondes polarisées selon les deux états principaux de polarisation
 15 de cette liaison.

Un des principes de compensation de la dispersion de polarisation consiste à insérer entre la liaison et le récepteur un dispositif compensateur qui présente un retard de groupe différentiel et des états principaux de
 20 polarisation représentés par un vecteur $\mathbf{\Omega_c}$ tel que le vecteur $\mathbf{\Omega_t}$ résultant de la somme $\mathbf{\Omega} + \mathbf{\Omega_c}$ soit constamment parallèle à \mathbf{S} ou nul. Ces deux cas sont illustrés respectivement par les figures 2 et 3.

Une conséquence du caractère aléatoire de la
 25 dispersion de polarisation est qu'un dispositif de compensation doit être adaptatif et capable de créer un retard de groupe différentiel DGDc au moins égal à la valeur maximale de retard différentiel DGD que l'on veut compenser.

En pratique, il convient aussi de choisir un paramètre
 30 de mesure commode à obtenir et qui soit représentatif de la valeur de PMD. Ce paramètre peut être par exemple le degré de polarisation du signal optique issu du dispositif de compensation ou la largeur spectrale de la modulation du signal électrique obtenu après détection.

Un dispositif de compensation de PMD est décrit dans la demande de brevet européen EP-A-853 395 déposée le 30 décembre 1997 et publiée le 15 juillet 1998.

La figure 4 montre schématiquement et à titre d'exemple un système de transmission optique muni d'un tel dispositif de compensation.

Il s'agit d'un système à multiplexage en longueur d'onde prévu pour véhiculer plusieurs canaux sous la forme de signaux émis $Se\lambda$, $Se\lambda'$, $Se\lambda''$ portés respectivement par les longueurs d'onde λ , λ' , λ'' . Chaque canal, par exemple $Se\lambda$, est issu d'un terminal émetteur TX émettant un signal optique ayant la forme d'une modulation d'amplitude d'une onde porteuse polarisée. Les canaux sont combinés dans un multiplexeur 1 dont la sortie est couplée à une liaison optique de transmission LF. Cette liaison est typiquement constituée d'une fibre optique et peut comporter des amplificateurs optiques (non représentés) disposés en amont et/ou en aval de la fibre. La liaison peut aussi être composée de plusieurs sections de fibre entre lesquels sont placés des amplificateurs optiques.

L'extrémité de la liaison rejoint au moins un terminal récepteur, par exemple RX, par l'intermédiaire d'un démultiplexeur 2 ayant pour fonction d'extraire le canal Sr destiné au récepteur RX.

Le système comporte des moyens de compensation de la dispersion de polarisation CM disposés entre le démultiplexeur 2 et le récepteur RX. Ces moyens comportent un contrôleur de polarisation PC, des moyens DDG pour engendrer un retard de groupe différentiel de compensation DGDc entre deux modes de polarisation orthogonaux et des moyens d'asservissement CU du contrôleur de polarisation PC.

Selon une première possibilité décrite dans la demande précitée, les moyens DDG engendrent un retard de groupe différentiel fixe et sont par exemple constitués d'une fibre à maintien de polarisation ou PMF (de l'anglais "Polarisation Maintaining Fiber"), qui a la propriété de

procurer un retard différentiel fixe avec des états principaux de polarisation invariables.

Le contrôleur de polarisation PC est commandé par les moyens d'asservissement CU en vue de maximiser constamment
 5 le degré de polarisation du signal issu du dispositif à retard différentiel.

L'ensemble constitué du contrôleur de polarisation PC ajustable et des moyens DDG est équivalent à un élément optique représentable par un vecteur Ω_c de module constant
 10 et de direction variable en fonction de la commande appliquée au contrôleur de polarisation. A condition que $|\Omega_c| > |\Omega|$, on peut rendre S et Ω_t colinéaires par une commande appropriée du contrôleur de polarisation, ce qui réalise une compensation au premier ordre. Toutefois, il a
 15 été trouvé que certains états, en particulier ceux correspondant aux cas où S et Ω sont perpendiculaires, renforcent des effets de PMD d'ordres supérieurs qui ne sont pas négligeables. Ces effets d'ordres supérieurs sont essentiellement dus au fait que la direction de Ω_t est
 20 fonction de ω .

On peut remédier à ce problème en prévoyant des moyens DDG ajustables, comme proposés selon une variante décrite dans la demande précitée. Dans ce cas, le compensateur est équivalent à un élément optique représentable par un vecteur
 25 Ω_c de module et de direction variables en fonction des commandes appliquées respectivement aux moyens DDG ajustables et au contrôleur de polarisation. Par rapport à la première solution, les moyens DDG ajustables donnent en principe la possibilité d'annuler Ω_t en permanence et donc
 30 de s'affranchir des effets de PMD d'ordres supérieurs.

Toutefois, pour que ce but puisse être atteint, il faut que les moyens DDG ajustables soient réalisés au moyen d'un dispositif générateur de retard de groupe différentiel DGD adapté au problème de la PMD. En particulier son temps
 35 de réponse doit être compatible avec la rapidité des fluctuations de DGD observées en pratique. De plus, il doit

assurer une précision d'autant plus grande que le débit est élevé. Ainsi, pour un signal binaire au format de modulation RZ, il convient que le retard de groupe différentiel moyen après compensation, reste inférieur au tiers du temps bit, ce qui impose de pouvoir ajuster le retard de groupe différentiel du compensateur à une valeur voisine de celui de la liaison et avec une précision meilleure que 33 ps si le débit est de 10 gigabits par seconde et que 8 ps si le débit est de 40 gigabits par seconde.

10 Pour réaliser un dispositif générateur de retard de groupe différentiel ajustable, une solution consiste à utiliser plusieurs tronçons de fibre à maintien de polarisation de longueurs différentes et, au moyen d'un commutateur optique, de sélectionner celui qui présente le DGD voulu. Toutefois cette réalisation ne fournit que des valeurs discrètes de retard de groupe différentiel et ne permet pas d'atteindre la précision requise. De plus, lors de chaque modification du DGD, le signal subit une perturbation, voire une interruption.

20 D'autres dispositifs générateurs de retard de groupe différentiel connus utilisent un séparateur de polarisation dont une des sorties est couplée à plusieurs lignes à retard commutées sélectivement. Cette solution présente les mêmes inconvénients que précédemment.

25 La présente invention vise à pallier les problèmes des dispositifs précités en proposant un dispositif générateur de retard de groupe différentiel ajustable qui soit aisé à l'utilisation, précis et qui ne présente qu'une très faible inertie.

30 Dans ce but, l'invention a pour objet un dispositif générateur de retard de groupe différentiel pour signaux optiques ayant la forme d'une modulation d'une onde porteuse possédant une longueur d'onde centrale, ledit dispositif comportant :

35 - un séparateur de polarisation muni d'une entrée pour recevoir un signal optique d'entrée et apte à diviser ledit

signal d'entrée en des première et seconde composantes présentant des états de polarisation orthogonaux,

- des moyens de retard ajustables disposés pour recevoir ladite première composante,

5 caractérisé en ce que lesdits moyens de retard ajustables comprennent :

- un modulateur de phase réglable apte à appliquer une modulation de phase à l'onde porteuse de ladite première composante de façon à fournir un signal intermédiaire porté

10 par une longueur d'onde centrale modifiée, et

- un élément dispersif retardateur présentant une dispersion chromatique, disposé pour recevoir ledit signal intermédiaire et fournir un signal retardé.

Le dispositif selon l'invention peut présenter une ou
15 plusieurs des caractéristiques suivantes :

- les moyens de retard ajustables comprennent en outre un contrôleur du modulateur de phase, apte à ajuster en fonction d'une consigne la profondeur de modulation de phase appliquée à la première composante.

20 - le signal d'entrée étant un signal binaire présentant un format de modulation de type RZ avec un temps bit déterminé, le contrôleur est prévu pour commander le modulateur de phase périodiquement avec une période égale au temps bit.

Ainsi, l'invention exploite la propriété des milieux
25 dispersifs, tels que les fibres dispersives ou les fibres à réseau de Bragg photo-inscrit , d'imposer à une onde optique les traversant une vitesse de propagation qui est fonction de la longueur d'onde (ou de la fréquence optique) de cette onde. Grâce au modulateur de phase, on peut ajuster une
30 modification appliquée à la longueur d'onde de l'onde porteuse des impulsions constituant une des composantes du signal optique d'entrée et régler ainsi le temps de propagation de ces impulsions dans le milieu dispersif retardateur.

35 On peut noter que cette solution est bien adaptée aux signaux optiques présentant une modulation d'amplitude de

type RZ car la modulation de phase à appliquer peut être mise en œuvre très simplement à partir d'un signal d'horloge ayant la fréquence bit. Pour d'autres types de modulation tels que la modulation d'amplitude de type NRZ, on ajoute
 5 des contraintes au niveau des modulateurs de phase du fait que la variation maximale de phase à appliquer est plus importante.

Pour les signaux classiques mentionnés ci-dessus, on sait par ailleurs que les milieux dispersifs ont pour effet
 10 d'élargir les impulsions optiques. Aussi, il convient que la présence de l'élément dispersif retardateur soit prise en compte si la dispersion chromatique de l'élément dispersif retardateur doit être importante pour assurer une large plage de retard différentiel.

15 En particulier dans l'application à un dispositif compensateur de dispersion de polarisation, les impulsions en sortie du milieu dispersif retardateur peuvent être combinées directement avec les impulsions de la seconde composante extraite du signal d'entrée. Aussi, une
 20 compensation sera à prévoir si, à cause de la dispersion chromatique, les impulsions en sortie du milieu dispersif retardateur présentent des largeurs trop différentes de celles de la seconde composante.

On rappelle que le coefficient de dispersion
 25 chromatique D d'un milieu est lié à sa constante de propagation β par la relation :

$$d^2\beta/d\omega^2 = -(2\pi c/\omega^2)D ,$$

30 où ω est la pulsation de l'onde optique et c la vitesse de la lumière dans le vide.

D'une façon générale, le coefficient D pourra être positif, nul ou négatif selon la longueur d'onde et le milieu utilisé. Par exemple pour les fibres standard, la
 35 dispersion chromatique vaut environ +17 ps/(km.nm) pour une longueur d'onde de 1,5 μ m.

On définit pour un élément dispersif homogène ou non, par exemple une liaison comportant une fibre dispersive, une valeur de dispersion chromatique qui peut s'exprimer mathématiquement par la formule :

5

$$(1) \quad DL = \int D(z).dz$$

où z est l'abscisse de points placés le long du milieu dispersif, $D(z)$ est son paramètre de dispersion chromatique à abscisse z , l'intégrale qui exprime la dispersion DL étant calculée le long du chemin de propagation des ondes dans le milieu dispersif.

De même, lorsqu'une liaison est constituée de plusieurs éléments dispersifs couplés en cascade, on peut définir pour cette liaison une dispersion chromatique cumulée qui est la somme algébrique des dispersions chromatiques des différents éléments qui forment la liaison.

Aussi pour résoudre l'éventuel problème d'élargissement des impulsions optiques mentionné ci-dessus, les moyens de retard ajustables peuvent comporter en outre un second élément dispersif disposé pour fournir au modulateur de phase une composante précompensée obtenue à partir de la première composante du signal d'entrée, ce second élément dispersif présentant une dispersion chromatique de signe opposé à celui de la dispersion chromatique présentée par l'élément dispersif retardateur, et dont la valeur absolue est au plus égale à celle de cet élément dispersif retardateur.

Grâce à cette disposition, il est assuré que les valeurs absolues des dispersions chromatiques cumulées évaluées à partir du signal d'entrée jusqu'à respectivement l'entrée du modulateur de phase et la sortie de l'élément dispersif retardateur restent inférieures à la valeur absolue de la dispersion chromatique de l'élément dispersif retardateur.

Il est généralement souhaitable que les impulsions en sortie de l'élément dispersif retardateur ne soient pas élargies. Pour cela, on pourra prévoir que le second élément dispersif et l'élément dispersif retardateur présentent des
5 dispersions chromatiques de signes opposés et de sensiblement même valeur absolue.

Bien entendu les dispositions précédentes impliquent que le signal d'entrée ne présente pas d'élargissement de ses impulsions dû à un élément dispersif situé en amont.
10 Dans le cas contraire où le signal d'entrée est obtenu par exemple à partir d'un signal émis et transmis par une liaison optique présentant une dispersion chromatique résiduelle importante, les moyens de retard ajustables comportent un second élément dispersif disposé pour fournir
15 au modulateur de phase une composante compensée obtenue à partir de la première composante du signal d'entrée, ce second élément dispersif présentant une dispersion chromatique telle que la dispersion chromatique cumulée de la liaison optique et du second élément dispersif soit de
20 signe opposé à celui de la dispersion chromatique présentée par l'élément dispersif retardateur, la valeur absolue de cette dispersion chromatique cumulée étant au plus égale à celle de l'élément dispersif retardateur.

La présence du second élément dispersif n'est
25 toutefois indispensable que si la dispersion chromatique cumulée en sortie ou en amont du modulateur de phase, évaluée à partir du signal d'entrée ou du signal émis est suffisante pour élargir sensiblement les impulsions. Un autre cas où on peut se passer du second élément dispersif
30 est celui où le signal d'entrée est constitué d'un train d'impulsions de type soliton, alors que la dispersion chromatique de l'élément dispersif retardateur est positive.

L'invention a également pour objet un dispositif de compensation de dispersion de polarisation pour système de
35 transmission optique comportant un terminal émetteur émettant des données sous la forme d'un signal optique

polarisé, une liaison optique de transmission et un terminal récepteur, ce dispositif comportant:

- au moins un contrôleur de polarisation,
 - des moyens générateurs de retard de groupe différentiel
- 5 ajustable, ce contrôleur et ces moyens étant intercalés entre la liaison de transmission et le terminal récepteur,
- et des moyens d'asservissement pour commander le contrôleur de polarisation et les moyens générateur de retard de groupe différentiel,
- 10 ces moyens générateur de retard de groupe différentiel comportant au moins un dispositif générateur de retard de groupe différentiel ajustable tel que défini ci-dessus.

D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée à titre

15 d'exemple non limitatif et se référant aux figures sur lesquelles :

- la figure 1 représente l'espace de Poincaré déjà commenté précédemment;
 - les figures 2 et 3 illustrent deux principes de
- 20 compensation de dispersion de polarisation également commentés précédemment;
- la figure 4 représente schématiquement un système de transmission optique comportant un dispositif de compensation de dispersion de polarisation, également
- 25 commenté précédemment;
- la figure 5 montre un dispositif de compensation de dispersion de polarisation selon l'invention intégrant le dispositif générateur de retard de groupe différentiel selon l'invention;
- 30 - la figure 6 représente une variante de réalisation du dispositif de compensation de dispersion de polarisation selon l'invention.
- les figures 7 et 8 représentent des chronogrammes permettant d'expliquer le fonctionnement du dispositif selon
- 35 l'invention.

La figure 5 reprend les différents éléments du système de transmission de la figure 4 : la liaison LF, les moyens de compensation de la dispersion de polarisation CM et le terminal récepteur RX. La liaison LF reçoit à une de ses 5 extrémités le signal émis $Se\lambda$ et délivre le signal Sr reçu au niveau du récepteur. A titre d'exemple, la liaison LF est constituée d'une fibre optique SF, de dispersion chromatique $DL0$, couplée à une fibre de compensation de dispersion chromatique DCF, de dispersion chromatique DLc .

10 Les moyens de compensation de la dispersion de polarisation CM comportent un contrôleur de polarisation PC, des moyens DDG pour engendrer un retard de groupe différentiel ajustable et des moyens d'asservissement comportant une unité de commande CU du contrôleur de 15 polarisation PC et des moyens DDG.

Le signal Sr est reçu par le contrôleur de polarisation PC qui fournit aux moyens DDG le signal d'entrée $S1$.

Ces moyens DDG comportent un séparateur de 20 polarisation 3 qui reçoit le signal d'entrée $S1$ et en extrait deux composantes Sd , Sq présentant des états de polarisation orthogonaux.

La composante Sd est couplée à des moyens de retard ajustables 4 comportant en cascade un modulateur de phase 25 réglable 10 et un élément dispersif retardateur 12 présentant une dispersion chromatique $DL1$. La seconde composante Sq est couplée à l'entrée d'une deuxième branche 8 dont la sortie fournit le signal $S4$.

Le signal optique d'entrée $S1$ et ses deux composantes 30 Sd , Sq étant portés par une longueur d'onde centrale initiale, le modulateur 10 est apte à appliquer une modulation de phase à l'onde porteuse de la composante Sd de façon à fournir un signal intermédiaire $S2$ porté par une longueur d'onde centrale modifiée.

35 L'élément dispersif 12, par exemple une fibre optique dispersive, joue le rôle de fibre retardatrice car elle

présente une dispersion DL1 ayant pour effet que le temps de propagation du signal S2 la traversant soit fonction du décalage de la longueur d'onde centrale appliqué par le modulateur de phase 10.

5 Le signal issu de la fibre 12 constitue un signal retardé S3.

Selon la réalisation représenté sur la figure 5, le signal retardé S3 est couplé avec le signal S4 de façon à former le signal de sortie Sc, dont une partie est destinée
10 à un photodétecteur 5 du récepteur RX, et une autre partie à l'unité de commande CU des moyens d'asservissement. Pour éviter des risques d'interférences entre les signaux S3 et S4, il conviendra de réaliser le couplage de ces signaux par l'intermédiaire de fibres à maintien de polarisation
15 convenablement orientées et au moyen d'un coupleur à maintien de polarisation (non représentés).

Une variante de réalisation qui permet d'éviter cette contrainte est représentée sur la figure 6. Selon cette variante, les signaux S3 et S4 ne sont pas couplés
20 optiquement, mais sont par contre dirigés respectivement vers deux photodétecteurs 5d, 5q du récepteur RX. Les signaux électriques produits par les photodétecteurs sont ensuite additionnés pour fournir un signal électrique de réception dont une partie est prélevée pour constituer un
25 signal de contre-réaction appliqué à l'unité de commande CU. L'unité CU applique dans ce cas une méthode d'asservissement visant à minimiser la largeur spectrale de la modulation du signal électrique de réception.

Un contrôleur 16 est destiné à appliquer au modulateur
30 de phase 10 une tension de commande appropriée. Ainsi, en fonction d'une consigne C fournie par l'unité de commande CU, le contrôleur 16 ajuste la profondeur de modulation de phase appliquée.

Pour synchroniser les commandes, le contrôleur 16
35 reçoit un signal représentatif de la modulation de la composante Sd, comme symbolisé par la flèche en pointillés.

Un premier élément de retard 6 est placé à l'entrée des moyens de retard 4 pour permettre le calage temporel du contrôleur 16 par rapport à la modulation du signal S'd. Un second élément de retard 7 placés dans la branche 8 est
 5 aussi prévu pour un recalage temporel statique des signaux S3 et S4.

Comme exposé précédemment, si la dispersion chromatique de la fibre retardatrice 12 doit être prise en compte pour limiter l'élargissement des impulsions du signal
 10 retardé S3, on prévoit un second élément dispersif de précompensation 11 disposé entre le séparateur de polarisation 3 et le modulateur 10 pour que ce dernier reçoive une composante précompensée S'd formée à partir de la composante Sd.

15 Dans le cas où le signal d'entrée S1 n'a pas subi d'élargissement de ses impulsions, par exemple grâce au compensateur DCF, le second élément dispersif 11 présentera alors une dispersion chromatique DL2 de signe opposé à celui de la dispersion chromatique DL1 de l'élément dispersif
 20 retardateur 12, et la valeur absolue de DL2 sera au plus égale à celle de DL1.

Il est généralement souhaitable que les impulsions en sortie de l'élément dispersif retardateur ne soient pas élargies. On prévoira alors que le second élément dispersif
 25 11 présente une dispersion chromatique DL2 dont la valeur absolue est sensiblement égale à celle DL1 de l'élément dispersif retardateur 12.

Cependant, dans ce cas où les impulsions en sortie de l'élément dispersif 12 présentent un minimum d'élargissement
 30 dû à la dispersion chromatique, les impulsions appliquées à l'entrée du modulateur de phase présentent un élargissement maximum qui peut être défavorable au fonctionnement du modulateur. C'est pourquoi une compensation partielle pourra dans certains cas être préférable. Aussi, pour que les
 35 impulsions en sortie du milieu dispersif retardateur présentent des largeurs analogues à celles du signal S4 issu

de la seconde composante S_q , le dispositif comportera
 avantageusement un troisième élément dispersif de
 compensation 13 disposé pour recevoir la seconde composante
 S_q et présentant une dispersion chromatique DL_3 sensiblement
 5 égale à la dispersion chromatique cumulée DL_2+DL_1 du second
 élément dispersif 11 et de l'élément dispersif retardateur
 12.

Le signal d'entrée S_1 peut par contre avoir subi une
 dispersion chromatique non compensée. Dans ce cas, le second
 10 élément dispersif 11 doit être dimensionné en tenant compte
 de la dispersion chromatique cumulée de l'ensemble de la
 liaison entre le signal émis $S_{e\lambda}$ et le signal d'entrée S_1 .
 Le second élément dispersif 11 aura alors une dispersion
 chromatique DL_2 telle que la dispersion chromatique cumulée
 15 $DL_0+DL_c+DL_2$ de la liaison optique et du second élément
 dispersif 11 soit de signe opposé à celui de la dispersion
 chromatique DL_1 de l'élément dispersif retardateur 12, la
 valeur absolue de cette dispersion chromatique cumulée étant
 au plus égale à celle de DL_1 .

20 Comme précédemment, l'élargissement minimum des
 impulsions en sortie de l'élément dispersif retardateur sera
 obtenu si la dispersion chromatique DL_2 est telle que la
 valeur absolue de la dispersion chromatique cumulée
 $DL_0+DL_c+DL_2$ de la liaison optique et du second élément
 25 dispersif est sensiblement égale à celle DL_1 .

Les éléments constitutifs du dispositif mentionnés ci-
 dessus sont des composants bien connus dans le domaine des
 transmissions optiques.

Ainsi, pour réaliser l'élément dispersif 12, plutôt
 30 qu'une fibre dispersive usuelle, il est préférable
 d'utiliser un composant à base de fibre munie d'un réseau de
 Bragg photo-inscrit à période variable (dit réseau
 "chirpé"). On rappelle que ces composants fonctionnent en
 réflexion et imposent aux composantes spectrales d'une onde
 35 injectée des chemins optiques fonction de leurs longueurs
 d'onde. Pour une valeur de dispersion chromatique donnée,

ces composants présentent l'avantage que la longueur de fibre nécessaire est beaucoup plus faible que celle d'une fibre dispersive usuelle. Il en résulte un fonctionnement bien plus stable vis-à-vis des fluctuations de température.

5 Bien entendu, la présence du second élément dispersif n'est indispensable que si la dispersion chromatique de l'élément dispersif retardateur est suffisante pour élargir sensiblement les impulsions.

Par ailleurs, le problème d'élargissement dû à
10 l'élément dispersif retardateur peut être absent ou du moins atténué si le signal d'entrée est constitué d'un train d'impulsions de type soliton ou s'en rapprochant. En effet, à condition de choisir un élément dispersif retardateur présentant une dispersion chromatique positive, il se
15 produit dans cet élément une compensation de l'élargissement des impulsions dû à la dispersion chromatique par des effets non linéaires (effet Kerr). Il convient toutefois que l'amplitude des impulsions du signal injecté dans l'élément dispersif retardateur soient suffisamment élevée pour faire
20 apparaître les phénomènes non linéaires. En cas de besoin, on peut prévoir un amplificateur optique en amont de l'élément dispersif retardateur.

Les chronogrammes représentés sur les figures 7 et 8 vont permettre d'expliquer le principe de fonctionnement du
25 dispositif selon l'invention.

La figure 7 correspond à un cas où le signal d'entrée S1, donc sa composante Sd ou s'd, a la forme d'une modulation d'amplitude quelconque d'une onde porteuse dont la longueur d'onde correspond à une pulsation ω_0 . Le
30 chronogramme (a) montre un exemple de variations en fonction du temps t de l'amplitude du signal S'd.

En sortie du modulateur 10, le signal S2 présente une modulation d'amplitude analogue et peut s'exprimer en fonction du temps t sous la forme :

35

$$S2 = A(t) \cos(\omega_0.t + \Delta\phi),$$

où $A(t)$ est l'amplitude modulée, ω_0 la pulsation du signal S'd et $\Delta\phi$ le décalage de phase entre les signaux S2 et S'd créé par le modulateur.

5 Si la commande appliquée au modulateur 10 n'est pas modulée, S2 conserve la pulsation ω_0 du signal S'd.

Si par contre la commande est modulée, $\Delta\phi$ varie en fonction du temps et la pulsation de S2 devient :

10
$$\omega = \omega_0 + d(\Delta\phi)/dt$$

Ainsi, en appliquant au modulateur 10 une commande telle que les variations en fonction du temps t du décalage de phase $\Delta\phi$ présentent une pente $d(\Delta\phi)/dt$ non nulle, la
15 pulsation ω de l'onde porteuse de S2 est décalée par rapport à ω_0 d'une valeur proportionnelle à cette pente. En particulier, si cette pente est constante, le décalage entre ω et ω_0 est constant.

En pratique, comme on ne peut pas augmenter ou
20 diminuer indéfiniment la phase, on module le décalage de phase $\Delta\phi$ de sorte que ce décalage présente la pente requise pendant chaque impulsion du signal S'd, un décalage opposé étant produit pendant les niveaux bas de puissance optique du signal. Une telle modulation de phase à pente
25 sensiblement constante pendant les impulsions est représentée par le chronogramme (b). Il en résulte la variation en fonction du temps t de la pulsation ω , représentée par le chronogramme (c).

Pour ajuster le retard en fonction de la consigne C,
30 le contrôleur 16 commande le modulateur de phase 10 de façon à créer une modulation de phase dont la profondeur de modulation est fonction de cette consigne. Par ailleurs, cette commande est synchronisée avec la modulation d'amplitude du signal S'd, comme schématisé par la flèche en
35 pointillés sur la figure 1. En cas de besoin, pour tenir compte du temps de traitement électronique par le contrôleur

16, on pourra prévoir de retarder le signal S'd d'un retard fixe approprié 6, avant de l'injecter dans le modulateur 10.

Par rapport à un signal qui n'aurait pas subi la modulation de phase, les impulsions du signal S3 issues de la fibre retardatrice 12 présentent un retard ou une avance proportionnel(le) aux valeurs absolues de la dispersion chromatique DL1 de la fibre retardatrice et du décalage entre les pulsations ω et ω_0 . De plus, on obtiendra un retard ou une avance selon les signes de la dispersion chromatique DL1 et du décalage entre les pulsations.

Ainsi le retard relatif appliqué au signal S'd est fonction de trois paramètres qui sont :

- le coefficient de dispersion chromatique D de la fibre retardatrice,
- sa longueur, et
- la pente $d(\Delta\phi)/dt$ du décalage de phase $\Delta\phi$ en fonction du temps t.

Il est donc possible de déterminer la plage de variation du retard par le choix du type de fibre dispersive et de sa longueur, et par la pente en fonction du temps de la commande du modulateur 10.

La figure 8 correspond à un cas où le signal S'd (chronogramme (a)) présente un format de modulation de type RZ rythmé par une horloge de période T définissant le temps bit.

En pratique, surtout à haut débit, il est plus facile d'obtenir des tensions de commande électrique qui présentent des modulations sensiblement sinusoïdales, dérivées d'un signal d'horloge ayant la fréquence bit, comme représenté sur le chronogramme (b). Si ce signal d'horloge n'est pas disponible au niveau du dispositif, il peut être créé à partir du signal Sd au moyen d'un dispositif de récupération d'horloge prévu dans le contrôleur 16, comme schématisé par la flèche en pointillés sur la figure 5.

Ainsi, le contrôleur 16 commande le modulateur de phase 10 périodiquement avec une période égale au temps bit

T de façon à créer une modulation de phase dont la profondeur de modulation est ajuster en fonction de la consigne C

Comme on peut le voir schématiquement sur le
5 chronogramme (c), le décalage de pulsation n'est pas constant mais ses fluctuations seront d'autant moins sensibles que les impulsions du signal sont étroites.

Enfin, lorsque le générateur de retard de groupe différentiel est utilisé dans le dispositif de compensation
10 de dispersion de polarisation décrit précédemment, la profondeur maximale de modulation de phase applicable à la composante Sd et/ou la dispersion chromatique DL1 de l'élément dispersif retardateur 12 sont choisies de manière à obtenir une plage de retard qui est au moins égale à deux
15 fois le temps bit du signal d'entrée.

Revendications

- 1/ Dispositif générateur de retard de groupe différentiel (DDG) pour signaux optiques ayant la forme d'une modulation
 5 d'une onde porteuse possédant une longueur d'onde centrale (λ), ledit dispositif comportant
- un séparateur de polarisation (3) muni d'une entrée pour recevoir un signal optique d'entrée (S1) et apte à diviser ledit signal d'entrée (S1) en des première et seconde
 10 composantes (Sd, Sq) présentant des états de polarisation orthogonaux,
 - des moyens de retard ajustables (4) disposés pour recevoir ladite première composante (Sd),
 caractérisé en ce que lesdits moyens de retard ajustables
 15 (4) comprennent :
 - un modulateur de phase réglable (10) apte à appliquer une modulation de phase à l'onde porteuse de ladite première composante (Sd) de façon à fournir un signal intermédiaire (S2) porté par une longueur d'onde centrale modifiée, et
 20 - un élément dispersif retardateur (12) présentant une dispersion chromatique (DL1), disposé pour recevoir ledit signal intermédiaire (S2) et fournir un signal retardé (S3).
- 2/ Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce
 25 lesdits moyens de retard ajustables (4) comprennent en outre un contrôleur (16) dudit modulateur de phase (10), apte à ajuster en fonction d'une consigne (C) la profondeur de modulation de phase appliquée à ladite première composante (Sd).
- 30
- 3/ Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que ledit signal d'entrée (S1) étant un signal binaire présentant un format de modulation de type RZ avec un temps bit déterminé (T), ledit contrôleur (16) est prévu pour
 35 commander ledit modulateur de phase (10) périodiquement avec une période égale audit temps bit (T).

4/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de retard ajustables (4) comportent un second élément dispersif (11) disposé pour
5 fournir audit modulateur de phase (10) une composante précompensée (S'd) obtenue à partir de ladite première composante (Sd), ledit second élément dispersif (11) présentant une dispersion chromatique (DL2) de signe opposé à celui de la dispersion chromatique (DL1) présentée par
10 ledit élément dispersif retardateur (12), et dont la valeur absolue est au plus égale à celle dudit élément dispersif retardateur (12).

5/ Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce
15 que ledit second élément dispersif (11) présente une dispersion chromatique (DL2) dont la valeur absolue est sensiblement égale à celle (DL1) dudit élément dispersif retardateur (12).

20 6/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit signal d'entrée (S1) étant obtenu à partir d'un signal émis (Se λ) et transmis par une liaison optique (LF, DCF), lesdits moyens de retard ajustables (4) comportent un second élément dispersif (11)
25 disposé pour fournir audit modulateur de phase (10) une composante compensée (S'd) obtenue à partir de ladite première composante (Sd), ledit second élément dispersif (11) présentant une dispersion chromatique (DL2) telle que la dispersion chromatique cumulée (DL0, DLc, DL2) de ladite
30 liaison optique (LF, DCF) et dudit second élément dispersif (11) soit de signe opposé à celui de la dispersion chromatique (DL1) présentée par ledit élément dispersif retardateur (12), la valeur absolue de ladite dispersion chromatique cumulée étant au plus égale à celle dudit
35 élément dispersif retardateur (12).

7/ Dispositif selon l'une des revendications 4 ou 6, caractérisé en ce qu'il comporte un troisième élément dispersif de compensation (13) disposé pour recevoir ladite seconde composante (Sq) et présentant une dispersion chromatique (DL3) sensiblement égale à la dispersion chromatique cumulée (DL2, DL1) dudit second élément dispersif (11) et dudit élément dispersif retardateur (12).

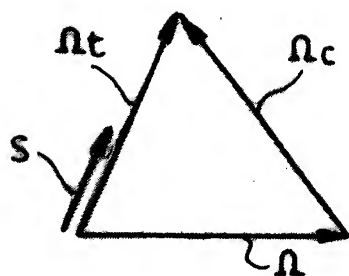
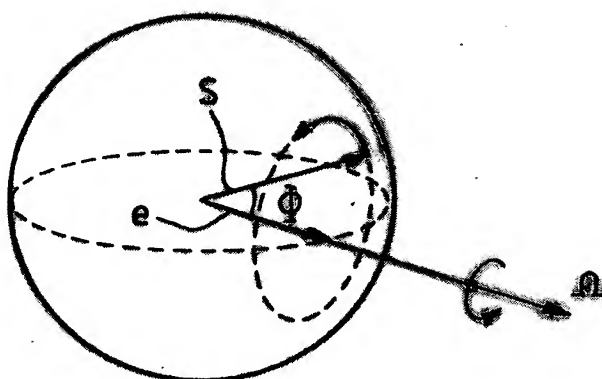
8/ Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit second élément dispersif (11) présente une dispersion chromatique (DL2) telle que la valeur absolue de ladite dispersion chromatique cumulée (DL0, DLc, DL2) de ladite liaison optique (LF, DCF) et dudit second élément dispersif est sensiblement égale à celle (DL1) dudit élément dispersif retardateur (12).

9/ Dispositif de compensation de dispersion de polarisation pour système de transmission optique comportant un terminal émetteur (TX) émettant des données sous la forme d'un signal optique polarisé ($Se\lambda$), une liaison optique de transmission (LF) et un terminal récepteur (RX), ce dispositif comportant

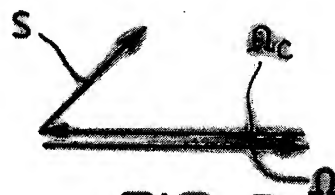
comportant :

- au moins un contrôleur de polarisation (PC),
 - des moyens (DDG) générateurs de retard de groupe différentiel ajustable, ce contrôleur et ces moyens étant intercalés entre la liaison de transmission et le terminal récepteur dans cet ordre,
 - et des moyens d'asservissement (CU) pour commander le contrôleur de polarisation (PC) et les moyens (DDG) générateur de retard de groupe différentiel,
- caractérisé en ce que lesdits moyens (DDG) générateur de retard de groupe différentiel sont conformes au dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

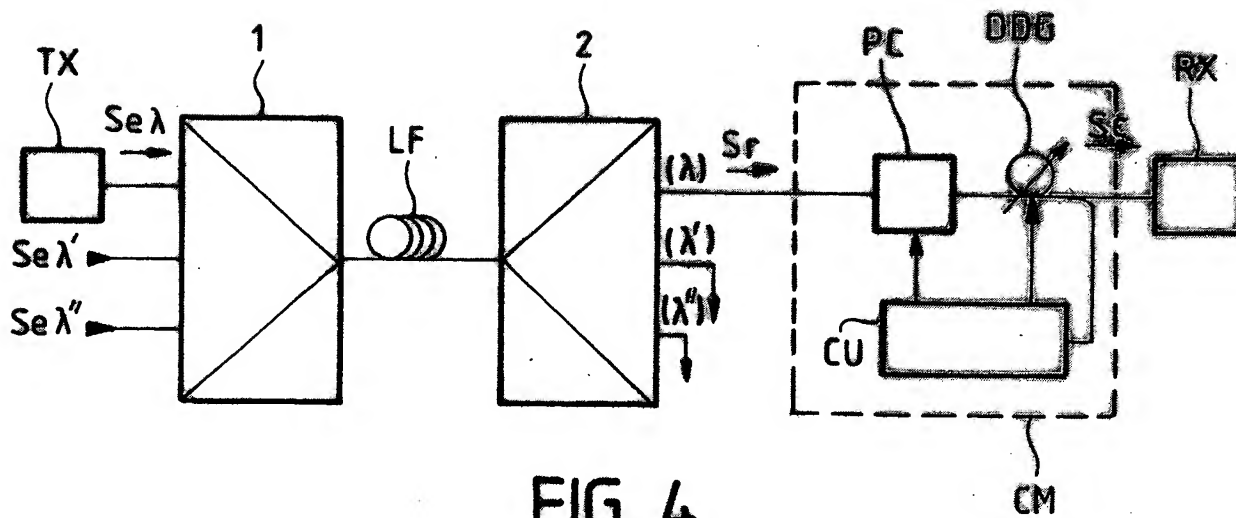
FIG_1



FIG_2



FIG_3



FIG_4

FIG-5

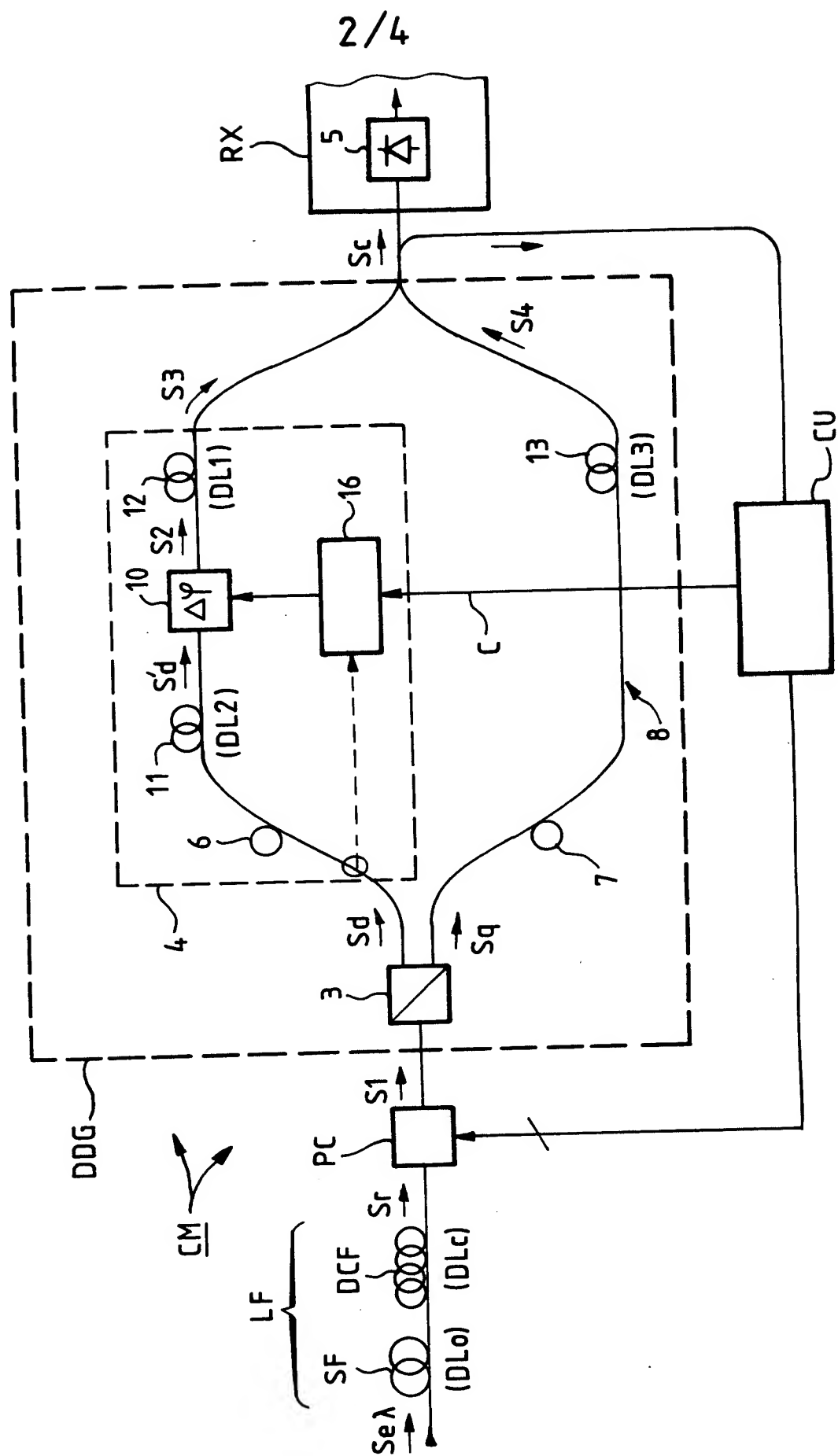
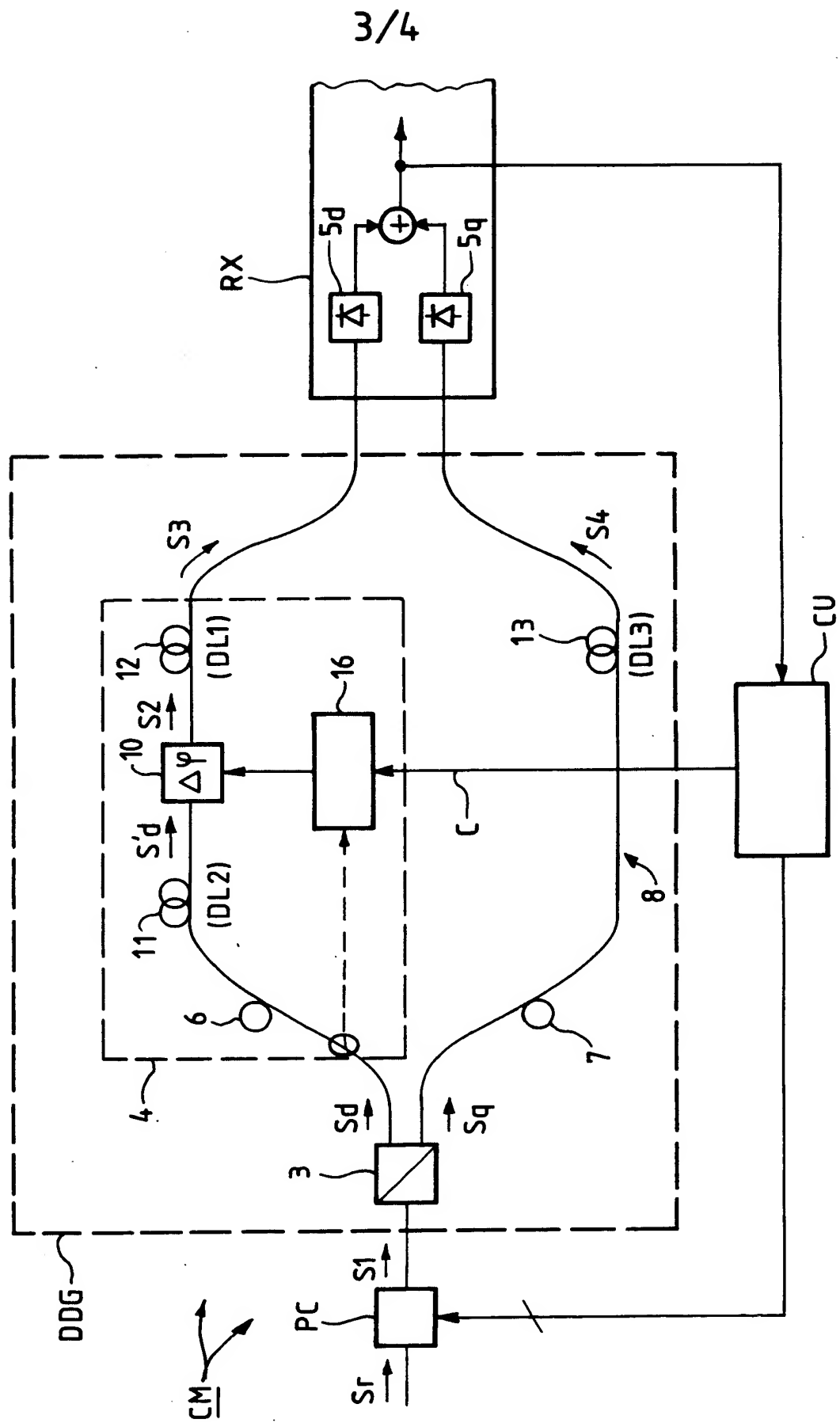


FIG-6



4/4

FIG-7

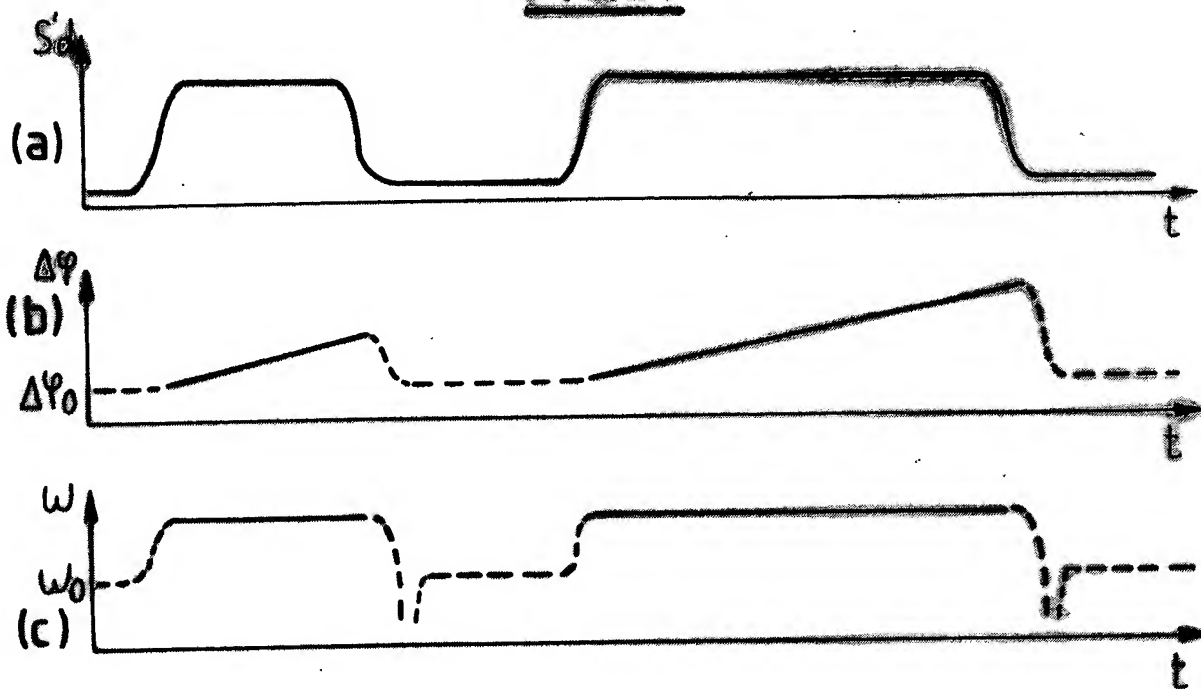


FIG-8

